Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 16, No. 1, June 2025, pp. 131-143



Original Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.90778.1101

Evaluation of Grain Yield Stability of Lentil Genotypes using Non-Parametric Statistics and AMMI Analysis

Amin Namdari[1*], Payam Pezeshkpoor[2], Mohammad Barzali[3], Asghar Mehraban[4], Amir Mirzaie[5], Mostafa Haghpanah[1]

Received: 16-11-2024
Revised: 25-02-2025
Accepted: 01-03-2025
Available Online: 01-03-2025

Cite this article:
Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Barzali, M., Mehraban, A., Mirzaie, A., & Haghpanah, M. (2025). Evaluation of grain yield stability in lentil (*Lens culinaris*) genotypes using non-parametric statistics and AMMI analysis. *Iranian Journal of Pulses Research*, *16*(1), 131-143. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.90778.1101

Introduction
To identify and introduce cultivars with high yield and stability, evaluating the genotype-by-environment interaction in multi-environment trials is of paramount importance. One of the most significant challenges for lentil breeders is selecting genotypes with high yield across diverse environments. Assessing genotypes in different environments can lead to the identification of genotype(s) with high yield potential and yield stability. Genotypes exhibiting lower responses to environmental effects typically have lower genotype × environment interactions and are desirable selections for breeders, especially if they demonstrate higher yield potential compared to control. Various univariate and multivariate methods exist for evaluating genotype-environment interactions. This study evaluated the grain yield stability of advanced lentil genotypes in tropical climates using two methods: univariate (non-parametric statistics) and multivariate (additive main effects and multiplicative interaction, AMMI).

Materials and Methods
Fifteen selected genotypes along with two check cultivars, Gachsaran and Sephar, were evaluated in a randomized complete block design with three replications across eight environments (four warm and semi-warm regions: Gachsaran, Khorramabad, Moghan, and Ilam over two years). Each experimental plot consisted of four rows, 6 meters long, with a plant density of 200 plants per square meter. Grain yield was measured after harvest. To analyze the data, after ensuring the homogeneity of error variances across environments using Bartlett's test, a combined analysis of variance was performed for the eight studied environments. The METAN package in the Rver4.3.2 statistical software was used for AMMI analysis, calculation of non-parametric statistics, and plotting AMMI1 and AMMI2 biplots.

Results and Discussion
The results of the combined analysis of variance for grain yield (based on the AMMI model) showed that the effects of environment, genotype and the interaction of genotype × environment were significant at the statistical probability level of 1%. Considering the significance of the genotype × environment interaction, it is possible to perform stability analyze on data in order to interpret this interaction. Stability analysis using the non-parametric TOP statistic, identified genotypes

1- Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran
2- Dryland Agricultural Research Institute, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran
3- Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran
4- Dryland Agricultural Research Institute, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
5- Dryland Agricultural Research Institute, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran
* Corresponding Author: namdari@ut.ac.ir



12 and 10 as the most stable genotypes. The Kang statistic also ranked genotypes 12 and 13 as the best genotypes. Among the non-parametric statistics, TOP and Kang placed high-yielding genotypes at the top of the yield stability rankings, whereas the rankings based on Thennarasu , Nassar and Huehn statistics favored genotypes with lower mean yields. According to the Thennarasu statistic, genotypes 5, 6, and 2 were identified as the most stable, but all three had low mean yields. Similarly, genotypes with high yield stability based on the Nassar and Huehn statistics, had low mean yields. By calculating the SIIG statistic and considering all non-parametric statistics, genotype 12 was found to have the best combination of yield and yield stability. In addition to this genotype, genotypes 13, 1, and 11 could also be considered desirable, considering both yield and stability. One of the most widely used multivariate methods for stability analysis is the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. The results of the combined analysis of variance for grain yield based on the AMMI model showed that the first three principal components of the genotype × environment interaction were significant, explaining approximately 40.4%, 26.5%, and 19.8% (a total of 86.7% for the first three components and 67.1% for the first two components) of the genotype × environment interaction, respectively. The AMMI1 biplot, considering mean grain yield and the value of the first principal component, identified genotypes 10, 11, and 12 as superior genotypes. The AMMI2 biplot, considering the values of the first and second principal components, also identified genotype 12 as the most stable in terms of grain yield. The two check cultivars, Gachsaran and Sephar, showed lower yield stability than the superior genotypes based on both biplots. Genotypes positioned at the center of the biplot exhibit general stability and are recommended for cultivation across most of the investigated environments. In contrast, genotypes located farther from the center and closer to specific environments demonstrate stability exclusive to those environments. In this regard, genotype 3 exhibited specific adaptation to environment 4, while genotypes 13 and 14 showed specific adaptation to environments 2 and 1, respectively.

Conclusions
Based on the obtained results, genotype 12 stands out as the best performer in terms of both high yield and stability. Therefore, it can be considered a promising candidate for release as a new cultivar in warm and semi-warm regions.

Keywords: Adaptation, *Lens culinaris* , Stable genotype, SIIG Statistic, Tropical and semi tropical climate

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۶، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۴، ص. ۱۴۳-۱۳۱



نوع مقاله: پژوهشی
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.90778.1101

پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris*) با استفاده از آماره‌های ناپارامتری و روش چند متغیره تجزیه AMMI

امین نامداری[1*]، پیام پزشکپور[2]، محمد برزعلی[3]، اصغر مهربان[4]، امیر میرزایی[5]، مصطفی حق پناه[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶
تاریخ‌پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

چکیده

شناسایی ژنوتیپ‌هایی با میانگین و پایداری عملکرد بالا، یکی از هدف‌های عمده در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی می‌باشد .در این پژوهش، پایداری عملکرد دانه ۱۵ لاین پیشرفته عدس (*Lens culinaris*)به همراه دو رقم شاهد گچساران و سپهر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در هشت محیط (چهار منطقه گچساران، خرم‌آباد، مغان و ایلام طی دو سال) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون همگنی واریانس‌ها توسط آزمون بارتلت انجام شد و با توجه به همگنی واریانس‌ها، تجزیه مرکب برای هشت محیط انجام‌پذیرفت. براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط بسیار معنی‌دار بود و برای ارزیابی این برهم‌کنش، روش‌های تجزیه پایداری مورد استفاده قرار گرفت. آماره ناپارامتری TOP، ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۰ را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها نشان داد و آماره کانگ نیز ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۳ را در رتبه‌های برتر قرار داد. آماره‌های تنارازو، نصار و هیون، ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد پایین را در رتبه‌های برتر قرار دادند و عموماً ژنوتیپ‌های پرعملکرد در رتبه‌های بالایی قرار نداشتند. با محاسبه آماره SIIG و در نظر گرفتن همه آماره‌های ناپارامتری، ژنوتیپ ۱۲ در بهترین شرایط از نظر عملکرد و پایداری عملکرد قرار گرفت. همچنین نتایج تجزیه AMMI نشان داد که دو مؤلفه نخست در مجموع ۶۷ درصد برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌کنند. بای‌پلات AMMI1 ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی نمود و بای‌پلات AMMI 2 نیز ژنوتیپ ۱۲ را در بهترین شرایط از نظر پایداری عملکرد تشخیص داد. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ ۱۲ با فاصله به‌عنوان بهترین ژنوتیپ از نظر پایداری و عملکرد دانه می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان نامزد معرفی رقم زراعی جدید در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم گرم و نیمه‌گرم، آماره SIIG، ژنوتیپ پایدار، سازگاری، *Lens culinaris*

مقدمه

سطح زیر کشت و میزان تولید عدس (سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰) در ایران به‌ترتیب ۷۵/۱۴۶ هکتار و ۴۰/۸۹۵ تن می‌باشد که سهم کشت دیم در سطح زیر کشت حدود ۹۳ درصد و در میزان تولید حدود ۸۲ درصد از کل است. پتانسیل عملکرد پایین ارقام محلی موجود باعث شده است که میزان عملکرد عدس در کشور مطلوب نباشد. محققان به‌نژادی گیاهی با اصلاح و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا، سعی در معرفی و آزادسازی ارقامی با عملکرد مطلوب‌تر دارند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت می‌تواند سبب شناسایی ژنوتیپ(هایی) شود که دارای پتانسیل عملکرد بالا و پایدار می‌باشند. یکی از مهم‌ترین چالش‌های به‌نژادگران عدس، گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در محیط‌های گوناگون است. ژنوتیپ‌هایی که واکنش کمتری نسبت به اثرات محیطی

۱- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران
۲- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران
۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران
۴- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۵- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: namdari@ut.ac.ir)

نشان می‌دهند، معمولاً برهم‌کنش محیط × ژنوتیپ کوچک‌تری دارند و انتخاب بهتری برای به‌نژادگران می‌باشند، به‌ویژه اگر پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به شاهد نشان دهند (Pour-Aboughadareh et al., 2022). روش‌ها و مدل‌های آماری برای تجزیه و تحلیل اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده می‌شود که به به‌نژادگران اجازه می‌دهد تا پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها را ارزیابی کنند (Amelework et al., 2023). در این خصوص، روش‌های مختلف تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و روش‌های چند متغیره ارائه شده‌اند. روش‌های گوناگون ناپارامتری که اغلب براساس رتبه‌بندی عملکرد استوار می‌باشند در جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شده‌اند. ژنوتیپ‌هایی که کمترین تغییرات رتبه‌بندی عملکرد در محیط‌های مختلف را بروز می‌دهند، پایدار می‌باشند (Sun et al., 2012). روش‌های ناپارامتری مزایای گوناگونی نسبت به روش‌های پارامتری دارند. این مزایا شامل عدم نیاز به فرضیات در مورد نرمال بودن، استقلال، یا یکنواختی واریانس داده‌ها است که موجب می‌شود در مقایسه با روش‌های پارامتری، نسبت به انحرافات و خطاهای داده‌ها حساسیت کمتری داشته باشند (Whitley et al., 2002). علاوه‌بر این، روش‌های ناپارامتری تحت تأثیر مقادیر داده‌های پرت، افزوده یا حذف شدن ژنوتیپ‌ها در مدل قرار نمی‌گیرند و همچنین فرآیند تجزیه و تحلیل و تفسیر این روش‌ها در مقایسه با روش‌های پارامتری بسیار ساده‌تر است. به‌طور کلی، سهولت کاربرد، عدم حساسیت به مفروضات داده‌ها و تحلیل ساده، روش‌های ناپارامتری را به ابزاری ارزشمند برای به‌نژادگران تبدیل ساخته است (Zeinalzadeh-Tabrizi et al., 2021). جهت ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط، آماره‌های ناپارامتری گوناگونی ارائه شده‌اند. در این زمینه، چهار آماره ناپارامتری $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$ برای ارزیابی پایداری فنوتیپی ارائه شده‌اند (Nassar & Huenh, 1987). همچنین تنارازو (Thennarasu, 1995) چهار آماره جایگزین را شامل $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ پیشنهاد کرد که این آماره‌ها بر رتبه‌های تصحیح‌شده استوار می‌باشند. آماره مجموع رتبه کانگ، از جمع کردن رتبه صفت مورد نظر (مانند عملکرد) با رتبه واریانس پایداری حاصل از تجزیه شوکلا حاصل می‌شود. با توجه به اینکه این آماره هم رتبه میانگین عملکرد و هم رتبه واریانس پایداری را در محاسبه لحاظ می‌کند، برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر کارآمد است (Kang, 1993). آماره‌های پایداری فاکس ژنوتیپ‌ها را در سه بخش TOP، MID و LOW رتبه‌بندی می‌کنند و براساس درصد قرارگیری ژنوتیپ‌ها در این بخش‌ها، ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی می‌شوند (Fox et al., 1990). در برخی موارد، نتایج آماره‌های مختلف پایداری در تضاد با یکدیگر می‌باشند و این امر موجب پیچیده شدن فرآیند انتخاب می‌شود. برای ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط، شاخص گزینش ایده‌ال (SIIG) نیز آماره‌ای است که از تجمیع و استاندارد کردن نتایج آماره‌های ناپارامتری حاصل می‌شود و مقدار آن بین صفر تا یک است (Zali et al., 2011).

با توجه به اینکه در فرآیند معرفی رقم، زمان و هزینه زیادی صرف می‌شود، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با پتاسیل عملکرد بالا و پایدار بسیار مهم است. ازاین‌رو استفاده از روش‌های چند متغیره در کنار روش‌های تک متغیره تجزیه پایداری می‌تواند در گزینش بهتر ژنوتیپ‌ها مؤثر باشد. یکی از روش‌های بسیار پرکاربرد چند متغیره تجزیه پایداری، روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) می‌باشد. روش AMMI یک ابزار آماری کارآمد جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر است که از آن برای تجزیه و تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط (GE) استفاده می‌شود (Namdari et al., 2022 a; Pezeshkpour et al., 2023). به‌طور کلی، مدل AMMI تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) را با پارامترهای جمع‌پذیر و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) با پارامترهای ضرب‌پذیر را در یک تجزیه و تحلیل واحد ترکیب می‌کند. مدل AMMI قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد بالا و سازگاری قابل توجه می‌باشد. از تجزیه AMMI به‌طور گسترده در تجزیه پایداری عملکرد محصولات مهم زراعی مانند گندم (*Triticum aestivum*) (Omrani et al., 2022; Singh et al., 2019)، ذرت (*Zea mays*) (Katsenios et al., 2021)، سویا (Glycine max) (Song et al., 2019)، برنج (Oryza sativa) (Senguttuvel et al., 2021)، عدس (*Lens culinaris*) (Subedi et al., 2021) و غیره استفاده شده است.

با وجود اینکه بخش قابل توجهی از سطح زیر کشت عدس به‌صورت دیم کشت می‌شود، رقم‌های کم‌شماری برای کشت دیم در اقلیم گرمسیری معرفی شده‌اند که شامل رقم‌های گچساران، سپهر و بیله سوار می‌شوند. در این راستا، هدف این پژوهش، ارزیابی ژنوتیپ‌های عدس (۱۵ لاین‌های پیشرفته و دو رقم شاهد) براساس اثر متقابل محیط بر صفت عملکرد دانه در هشت محیط (چهار محیط در دو سال) با استفاده از آماره‌های تجزیه ناپارامتری و مدل AMMI است تا بدین‌وسیله امکان شناسایی لاین‌های برتر جهت معرفی به‌عنوان رقم‌های جدید فراهم شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ۱۵ لاین پیشرفت عدس و دو رقم سپهر و گچساران جهت بررسی پایداری عملکرد دانه استفاده شد (جدول ۱). ژنوتیپ‌های مذکور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) در چهار منطقه گچساران، خرم آباد، ایلام و مغان به‌صورت دیم کشت شدند. شرایط آب و هوایی ایستگاه‌های تحقیقاتی شامل متوسط دما و بارش باران ماهانه در جدول ۲ ارائه شده است. شماره محیط‌های آزمایشی به این ترتیب است: E1 و E2 (گچساران سال یک و سال دوم)، E3 و E4 (خرم آباد سال یک و دو)، E5 و E6 (مغان سال یک و دو)، E7 و E8 (ایلام سال یک و دو). هر کرت آزمایشی دارای چهار خط کاشت به‌طول شش متر با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع بود. پس از برداشت، میزان عملکرد هر کرت اندازه‌گیری شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، پس از اطمینان از همگن بودن واریانس‌های خطا در محیط‌ها با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب برای هشت محیط مورد مطالعه انجام شد.

به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه از روش‌های مختلف ناپارامتری استفاده شد. جهت محاسبه شاخص پایداری کانگ YSi، ابتدا ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد، رتبه‌بندی و امتیازدهی شدند (بیشترین عملکرد رتبه یک و غیره). سپس مقدار واریانس شوکلا محاسبه و براساس میزان واریانس به‌دست‌آمده، ژنوتیپ‌ها رتبه‌بندی شدند (به ژنوتیپ‌هایی با واریانس کمتر، رتبه کمتری تعلق گرفت). در نهایت، از جمع این دو رتبه برای هر ژنوتیپ، شاخص YSi به دست آمد (Kang, 1993).آماره‌های پایداری ناپارامتری نصار و هان شامل $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$ و آماره‌های پایداری ناپارامتری تنارازو شامل $NPi^{(1)}$، $NPi^{(2)}$، $NPi^{(3)}$ و $NPi^{(4)}$ با استفاده از معادله‌های ارائه‌شده در این منابع محاسبه شدند (Nassar & Huehn, 1987; Thennarasu, 1995). از شاخص ناپارامتری TOP نیز استفاده شد. طبق این شاخص، ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد و پایداری به سه گروه TOP، MID و LOW تفکیک می‌شوند. ژنوتیپ‌ها با بیشترین مقادیر TOP به‌عنوان پایدارترین و مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند (Fox et al., 1990). محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (شاخص SIIG) طبق معادله ارائه‌شده توسط زالی و همکاران (Zali et al., 2011) در محیط EXCEL 2016 انجام شد.

محاسبه برهم‌کنش ژنوتیپ-محیط با استفاده از مدل AMMI و طبق معادله ۱ انجام شد.

$$Y_{ger} = \mu + \sigma_g + \beta_e + \Sigma\lambda_n y_{gn} \delta_{ge} + P_{ge} + \varepsilon_{ger}$$ معادله (۱)

که در آن، Y_{ger}: عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام، μ: میانگین کل در آزمایش، σ_g و β_e: اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n: مقدار ویژه برای محور مؤلفه nام، y_{gn}: بردار مقدار ویژه برای محور مؤلفه nام، δ_{ge}: بردار ویژه محیط برای محور مؤلفه eام، P_{ge}: مقدار نویز و ε_{ger}: مقدار خطا است. از بسته ویژه آزمایش‌های چند محیطی METAN در بستر نرم‌افزار آماری $R_{ver4.3.2}$ جهت محاسبه تجزیه واریانس مرکب، شاخص‌های ناپارامتری (به‌غیر از شاخص SIIG) و رسم نمودارهای AMMI1 و AMMI2 استفاده شد (Olivoto et al., 2020). رسم نمودار گرمایی نیز با استفاده از XLSTAT ver2018 انجام شد (Haghpanah et al., 2015).

نتایج و بحث

در این بررسی، پایداری عملکرد تعداد ۱۵ لاین و دو رقم عدس در هشت محیط مورد ارزیابی قرار گرفت. شجره‌نامه ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است. آماره‌های هواشناسی محیط‌های مورد بررسی نیز در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هشت محیط مختلف در نمودار گرمایی (شکل ۱) ارائه شده است. در این نمودار، شدت رنگ آبی نشان‌دهنده بالاتر بودن عملکرد ژنوتیپ در محیط و رنگ قرمز نشان‌دهنده پایین‌تر بودن عملکرد ژنوتیپ می‌باشد.

آماره‌های تنارازو: چهار آماره پیشنهادشده توسط تنارازو برپایه رتبه تصحیح‌شده میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها می‌باشند، به این ترتیب که ژنوتیپ‌هایی که رتبه آن‌ها در محیط‌های گوناگون، کمترین تغییر را داشته باشند، رتبه بهتری خواهند داشت. بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی با مقادیر کم NPi(1)، NPi(2)، NPi(3) و NPi(4) ژنوتیپ‌های پایدارتر در نظر گرفته می‌شوند. برپایه این آماره‌ها، ژنوتیپ‌های ۵، ۶ و ۲ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌های پایدار براساس آماره‌های ناپارامتری تنارازو، عموماً از عملکرد بالایی برخوردار نیستند (Jamshidmoghaddam et al., 2013). همبستگی منفی میان رتبه عملکرد ژنوتیپ‌ها و رتبه آماره‌های تنارازو در مطالعات فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2014) نیز اشاره شده است.

جدول ۱- نام/شجره و منشأ لاین (ژنوتیپ)های عدس دیم

Table 1- Name/pedigree and origin of dry lentil lines (genotypes)

شماره ژنوتیپ Genotype number	منشأ Origin	نام /شجره Name/pedigree	شماره ژنوتیپ Genotype number	منشأ Origin	نام /شجره Name/pedigree
G1	ICARDA	2009S 96575-1	G10	ICARDA	2009S 96501-5-X2007S61-ILL5883xILL6458
G2	ICARDA	08S 40111-01	G11	ICARDA	ILL 4605-2
G3	ICARDA	ILL 5988	G12	ICARDA	08S 41205-13-X2005S140-ILL5883 x ILL7620
G4	ICARDA	ILL 4605-1	G13	ICARDA	2009S 96101-4
G5	ICARDA	ILL 6183	G14	ICARDA	X2012S-154-X2012S-154-ILL6002xILWL118
G6	ICARDA	ILL 590	G15	ICARDA	X2012S-102-X2012S-102-(ILL7986 X ILWL 74)X(ILL4605 X ILL5677)
G7	ICARDA	2009S 96505-2-X2007S67-ILL6434 x ILL8199	Gachsaran	IRAN	Gachsaran
G8	ICARDA	2009S 96518-1-X2007S107-ILL7940 x ILL5883	Sepehr	IRAN	Sepehr
G9	ICARDA	2009S 96501-1-X2007S61-ILL5883 x ILL6458			

آماره‌های نصار و هیون: دو آماره $Si^{(1)}$ (میانگین تفاوت قدر مطلق ژنوتیپ در محیط‌ها) و $Si^{(2)}$ (واریانس مشترک انحراف از رتبه‌ها) برپایه رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها هستند و برای هرکدام از محیط‌ها، وزن یکسانی را در نظر می‌گیرند. دو آماره $Si^{(3)}$ (واریانس بین رتبه‌ها در محیط‌ها) و $Si^{(6)}$ (برآیند انحراف مطلق) در واقع ترکیبی از عملکرد و پایداری براساس رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در هر مکان می‌باشند و پایداری را براساس میانگین رتبه‌بندی هر ژنوتیپ اندازه‌گیری می‌کنند. برپایه آماره‌های $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$، ژنوتیپ‌هایی که کمترین مقدار این آماره‌ها را داشته باشند، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. براساس آماره‌های $Si^{(1)}$ و $Si^{(2)}$، ژنوتیپ‌های ۶، ۵ و ۲ بیشترین پایداری عملکرد را نشان دادند. براساس آماره $Si^{(3)}$، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۵ و ۱۵ و براساس آماره $Si^{(6)}$، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۵ و ۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با بیشترین پایداری عملکرد، شناسایی شدند. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، ژنوتیپ‌های ۶، ۵، ۱۵ دارای پایین‌ترین میانگین‌های عملکرد می‌باشند و عملکرد آن‌ها از شاهد برتر (رقم سپهر) کمتر بود. در میان ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد بالا، تنها ژنوتیپ ۱۳ از نظر دو آماره $Si^{(1)}$ و $Si^{(2)}$ در رتبه خوبی قرار داشت (به‌ترتیب رتبه ۴ و ۵). ژنوتیپ ۱۲ با رتبه دوم از نظر عملکرد از نظر آماره $Si^{(3)}$ در رتبه ۵ قرار داشت و از نظر سایر آماره‌های نصار و هیون در رتبه‌های مناسبی قرار نگرفت. ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۱ با رتبه‌های یک و سه از لحاظ میانگین عملکرد نیز براساس هیچ یک از آماره‌های ذکرشده در رتبه‌های مناسبی قرار نگرفتند.

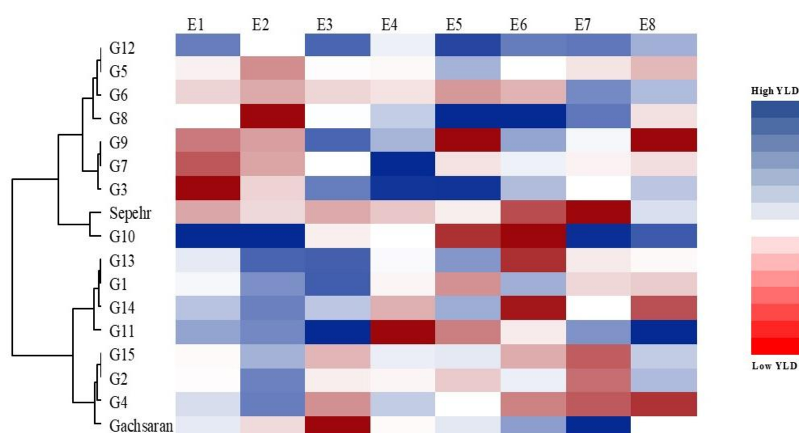
آماره فاکس: این آماره ژنوتیپ‌ها را براساس عملکرد و پایداری در سه دسته بالا (TOP)، متوسط و پایین قرار می‌دهد. بالاتر بودن مقدار آماره TOP یک ژنوتیپ، به‌معنای پایدارتر بودن آن ژنوتیپ می‌باشد. براساس آماره TOP، ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۰ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌ها از نظر میانگین عملکرد نیز در بالاترین رتبه‌ها قرار داشتند. گزارش شده است که در بسیاری از موارد، همبستگی مثبت میان رتبه ژنوتیپ‌ها از نظر میانگین عملکرد و رتبه آماره TOP وجود دارد (Abdulahi et al., 2007). در پژوهش‌های پیشین به مؤثر بودن آماره TOP در شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و با پایداری بالای عدس اشاره شده است (Namdari et al., 2022b).

جدول ۲- شرایط آب و هوایی ایستگاه‌های اجرای آزمایش در سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 2 -Climatic conditions at experimental stations during 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons

ایستگاه تحقیقات Experimental station	سال Year	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	فصل Season	متوسط دما (سانتی‌گراد) Average of temperature (◦C)	حداکثر دما (سانتی‌گراد) Maximum of temperature (◦C)	حداقل دما (سانتی‌گراد) Minimum of temperature (◦C)
گچساران Gachsaran	1398-99 2019-2020	435.5	Autumn	20.17	27.8	13.6
			Winter	12.63	15.7	11
			Spring	20.85	24.1	17.6
	1399-1400 2020-2021	591.5	Autumn	20.27	26.3	14.5
			Winter	13.27	15.2	11.5
			Spring	23.9	26.7	21.1
خرم آباد Khoramabad	1398-99 2019-2020	524	Autumn	14.53	22.9	7.7
			Winter	7.8	11.4	5.6
			Spring	15.9	18.8	13
	1399-1400 2020-2021	305	Autumn	15.13	21.6	9
			Winter	8.3	10	6.7
			Spring	19	22.1	15.9
ایلام Illam	1398-99 2019-2020	603.6	Autumn	16.13	24.8	9.4
			Winter	8.43	11.8	6.4
			Spring	17.1	20.2	14
	1399-1400 2020-2021	302	Autumn	16.47	22.7	10
			Winter	9.43	11.8	7.5
			Spring	19.75	23.5	16
مغان Moghan	1398-99 2019-2020	160.2	Autumn	12.73	19.1	7
			Winter	7.53	10.2	6.1
			Spring	14.1	17.1	11.1
	1399-1400 2020-2021	203	Autumn	12.83	18.5	6.2
			Winter	5.3	6	4.6
			Spring	16.7	19.7	13.7

Autumn: پاییز، Winter: زمستان، Spring: بهار



شکل ۱- نمودار گرمایی اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط

Fig. 1- The genotype-by-environment interactions heat map

G: ژنوتیپ، E: محیط

G: Genotype, E: Environment

آماره کلنگ: جمع رتبه واریانس شوکلا (از آماره‌های پارامتری) و میانگین عملکرد، مقدار آماره مجموع رتبه کلنگ را به دست می‌دهد که در آن هر دو جزء عملکرد و پایداری عملکرد در نظر گرفته شده‌اند (Kang, 1993). برپایه آماره کانگ (YSi)، ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳ و ۱ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. دو رقم شاهد براساس این آماره در رتبه‌های نامناسبی قرار گرفتند.

SIIG: به‌دلیل اینکه نتایج حاصل از تجزیه پایداری با استفاده از شاخص‌های مختلف ناپارامتری متفاوت و در برخی موارد متضاد است، در این تحقیق از شاخص SIIG به‌منظور ارزیابی جامع‌تر استفاده شد. از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و گزینش برترین ژنوتیپ‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های این روش این است که برای محاسبه آن می‌توان از شاخص‌های گوناگون، صفات مورفولوژیک، صفات فیزیولوژیک و غیره استفاده نمود و کارآیی انتخاب را افزایش داد. این شاخص، حاصل ادغام آماره‌های گوناگون ناپارامتری است و می‌تواند در انتخاب دقیق‌تر ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد بالا مفید باشد. در شکل ۲، پراکنش ژنوتیپ‌ها براساس میزان عملکرد (محور X) و شاخص SIIG (محور Y) نشان داده شده است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳ و ۱ هم از لحاظ شاخص SIIG و هم از لحاظ میزان عملکرد، وضعیت مطلوبی داشتند. ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۱ با وجود اینکه عملکرد مطلوبی داشتند، از نظر شاخص SIIG پایین‌تر از رقم سپهر بودند. رقم گچساران هم از لحاظ میانگین عملکرد و هم از لحاظ شاخص SIIG جزو ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کاررفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Zali et al., 2020). از شاخصSIIG برای ادغام آماره‌های ناپارامتری در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در گندم دوروم (*Triticum durum*) نیز استفاده شده است و با استفاده از شاخص SIIG و عملکرد در یک نمودار دو بعدی، ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا، شناسایی شدند (Najafi Mirak et al., 2018).

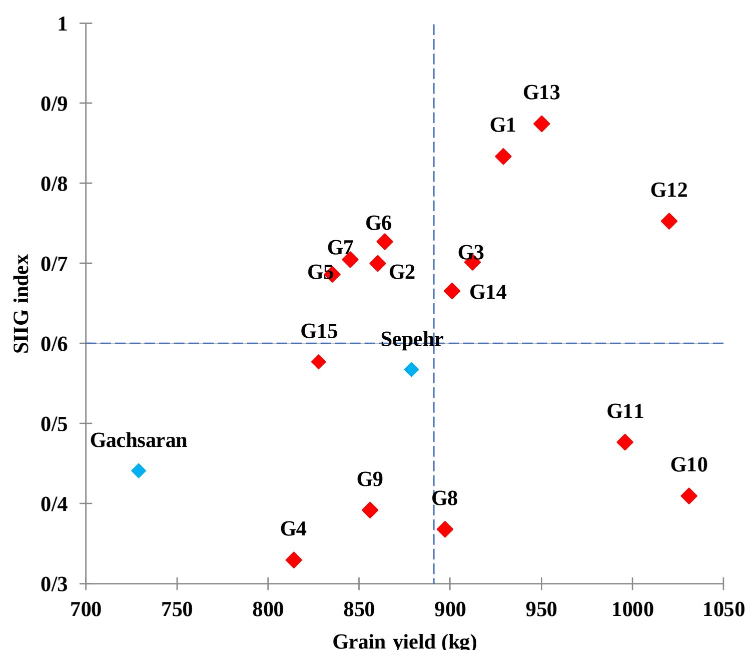
تجزیه AMMI: به‌طور کلی، روش‌های مختلف ناپارامتری به‌دلیل اینکه اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط در آن‌ها به‌صورت تک متغیره و ساده مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، می‌توانند دارای اشتباهات قابل توجه باشند و ازاین‌رو استفاده از مدل‌های آماری چندمتغیره می‌تواند در درک دقیق‌تر واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌ها مختلف مؤثر باشد. مدل‌های AMMI با تجزیه و تحلیل همزمان اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها و برهم‌کنش آن‌ها با محیط‌ها، به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که روابط پیچیده‌تری را میان ژنوتیپ‌ها و عوامل محیطی شناسایی کنند. این مدل‌ها قادر به شناسایی و تفکیک برهم‌کنش‌ها به‌صورت نمودارهای تعاملی هستند که نمایانگر نحوه تغییر واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون می‌باشند. در این بررسی، نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه (براساس مدل AMMI) نشان داد که اثرهای محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر محیط و ژنوتیپ به‌ترتیب نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها به محیط‌های گوناگون و تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. با توجه به معنی‌دار بودن برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، امکان تجزیه پایداری بر روی داده‌ها جهت تفسیر این برهم‌کنش وجود دارد (Namdari et al., 2022a). نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه براساس مدل AMMI نشان داد که سه مؤلفه اول در برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بودند و مؤلفه‌های یکم، دوم و سوم به‌ترتیب حدود ۴۰/۴، ۲۶/۵ و ۱۹/۸ درصد (مجموع سه مؤلفه اول ۸۶/۷ درصد و مجموع دو مؤلفه اول ۶۷/۱ درصد) از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کنند (جدول ۴). بهترین شرایط در تجزیه AMMI این است که دو مؤلفه یک و دو، معنی‌دار شوند و سایر مؤلفه‌ها درصد کمی از برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط را در برگیرند (Katsura et al., 2016)، البته با توجه به اینکه دو مؤلفه یک و دو نزدیک به هفتاد درصد برهم‌کنش را توجیه می‌کنند، نتایج از اعتبار قابل قبولی برخوردار می‌باشند.

در بای‌پلات AMMI1، محور افقی نشان‌دهنده اثرهای اصلی جمع‌پذیر و محور عمودی نشان‌دهنده اثرهای متقابل ضرب‌پذیر (مقدارهای نخستین مؤلفه اصلی) می‌باشند. ژنوتیپ‌هایی که مقدار نخستین مؤلفه اصلی آن‌ها به صفر نزدیک‌تر باشد، برهم‌کنش کمتری با محیط دارند و بنابراین پایدارتر می‌باشند. با توجه به اینکه در برنامه‌های به‌نژادی، هدف برگزیدن ژنوتیپ‌هایی با پایداری بالا و نیز عملکرد بالا می‌باشد، ژنوتیپ‌های برگزیده باید ترکیب مناسبی از هر دو جزء داشته باشند. کانون بای‌پلاتAMMI1، میانگین عملکرد را نشان می‌دهد و ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط افقی قرار دارند، عملکرد بیشتری از میانگین دارند. در این بررسی، دو ژنوتیپ ۱۱ و ۱۰ ضمن برخوردار بودن از پایداری عملکرد مناسب (قرار گرفتن نزدیک به محور افقی بای‌پلات)، از میانگین عملکرد مناسبی نیز برخوردار بودند. همچنین ژنوتیپ ۱۲ نیز در بالاترین رتبه‌های عملکرد قرار داشت و از نظر پایداری عملکرد نیز رتبه متوسط رو به بالا داشت و به‌ویژه از هر دو رقم شاهد

(ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۷) شرایط بهتری داشت. دو رقم شاهد هم از نظر عملکرد و هم از نظر پایداری عملکرد در پایین‌ترین رتبه‌ها قرار داشتند (شکل ۳).

در بای‌پلات AMMI2، پایداری ژنوتیپ‌ها با در نظر گرفتن هر دو مؤلفه یک و دو، ارزیابی می‌شود. مؤلفه‌های یک و دو در مجموع، ۶۹ درصد از برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. زاویه میان بردارها در بای‌پلات نشان‌دهنده همبستگی عملکرد در محیط‌ها می‌باشد. بدین ترتیب که زاویه حاده نشان‌دهنده همبستگی مثبت، زاویه عمودی نشان‌دهنده عدم همبستگی و زاویه باز نشانگر همبستگی منفی می‌باشد. در این بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی که به مرکز بای‌پلات نزدیک‌تر باشند، پایداری عملکرد بالاتری دارند (Aghaei-Sarbarze et al., 2014) بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۲، ۵ و ۱۳ در بالاترین رتبه‌ها از نظر پایداری عملکرد قرار داشتند. ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۱ نیز در رده‌های بعدی قرار گرفتند. دو رقم شاهد گچساران و سپهر بر مبنای این بای‌پلات نیز در رتبه‌های پایینی قرار گرفتند و در کنار ژنوتیپ‌های ۳ و ۸، کمترین پایداری عملکرد را در محیط‌های هشت‌گانه نشان دادند (شکل ۳).

طول بردارهای سبز نشان‌دهنده سهم هر محیط در برهم‌کنش بین ژنوتیپ و محیط است. محیط‌های ۷، ۱، ۲ و ۴ بیشترین نقش را در برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط داشتند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات قرار دارند، از پایداری عمومی برخوردار هستند و برای کشت در بیشتر محیط‌های بررسی‌شده، توصیه می‌شوند. از سوی دیگر، ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بای‌پلات و در مجاورت محیط‌های ویژه‌ای پراکنش یافته‌اند، دارای پایداری خصوصی به آن محیط‌ها می‌باشند. بر این اساس، در شکل۳ دیده می‌شود که ژنوتیپ ۳ فاقد سازگاری عمومی می‌باشد، امّا سازگاری خصوصی به محیط ۴ نشان می‌دهد و همچنین ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۴ به محیط‌های ۲ و ۱ سازگاری خصوصی دارند. با توجه به اینکه محیط‌های ۱ و ۲ مربوط به منطقه گچساران می‌باشند، لذا این دو ژنوتیپ واجد سازگاری خصوصی به منطقه گچساران می‌باشند.



شکل ۲- نمودار دو بعدی پراکنش ژنوتیپ‌های عدس براساس عملکرد دانه و روش SIIG

Fig. 2- Two-dimensional distribution diagram of lentil genotypes based on seed yield and SIIG method

جدول ۳- برآورد آماره‌های ناپارامتری پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس

Table 3- Estimation of non-parametric statistics for the grain yield stability of lentil genotypes

G	GY	Rank	$Si^{(1)}$	Rank	$Si^{(2)}$	Rank	$Si^{(3)}$	Rank	$Si^{(6)}$	Rank	$NPi^{(1)}$	Rank	$NPi^{(2)}$	Rank	$NPi^{(3)}$	Rank	$NPi^{(4)}$	Rank	TOP	Rank	YSi	Rank
1	929	5	4.89	5	17.84	4	14.65	8	3.24	7	3.13	7	0.31	6	0.43	7	0.53	7	25	5	14	3
2	860	11	4.36	3	13.43	1	10.58	6	2.68	6	2.75	3	0.25	3	0.36	3	0.45	3	25	5	6	9
3	912	6	5.68	11	22.98	10	24.03	13	4.08	13	3.63	10	0.60	13	0.60	13	0.76	13	25	5	9	6
4	814	16	7.21	14	37.36	14	22.20	12	3.90	11	5.50	15	0.50	11	0.56	10	0.70	10	37.5	3	-3	13
5	835	14	4.32	2	14.27	2	5.82	2	1.60	2	2.63	1	0.23	2	0.31	1	0.38	1	0	7	3	11
6	864	10	4.18	1	15.13	3	8.91	4	2.16	3	2.63	2	0.20	1	0.33	2	0.38	2	25	5	7	8
7	845	13	5.21	7	19.93	6	14.11	7	2.47	5	3.00	5	0.29	4	0.41	5	0.52	6	12.5	6	4	10
8	897	8	6.96	13	34.70	13	30.16	15	4.97	15	4.88	13	0.75	14	0.79	15	1.00	15	50	2	3	11
9	856	12	7.64	16	41.64	16	25.63	14	4.34	14	5.75	16	0.52	12	0.58	12	0.74	12	37.5	3	3	11
10	1031	1	8.43	17	54.21	17	43.64	17	6.37	17	6.75	17	1.23	17	0.93	16	1.14	16	50	2	11	5
11	996	3	7.39	15	38.98	15	35.51	16	5.39	16	5.13	14	0.85	15	0.79	14	1.00	14	37.5	4	8	7
12	1020	2	5.57	9	22.00	9	10.50	5	3.64	8	3.75	11	1.15	16	1.05	17	1.33	17	75	1	18	1
13	950	4	4.82	4	18.84	5	18.40	9	3.73	10	2.88	4	0.38	8	0.54	9	0.64	9	37.5	4	15	2
14	901	7	5.39	8	20.27	7	21.48	11	3.96	12	3.63	9	0.47	10	0.45	8	0.57	8	37.5	4	12	4
15	828	15	5.11	6	20.55	8	7.79	3	2.27	4	3.13	6	0.33	7	0.42	6	0.50	5	0	7	0	12
16, (Sepehr)	729	17	6.25	12	28.41	12	4.92	1	1.54	1	4.13	12	0.29	5	0.38	4	0.48	4	0	7	-9	14
17, (Gachsaran)	879	9	5.57	10	23.64	11	21.44	10	3.68	9	3.25	8	0.41	9	0.58	11	0.71	11	25	5	0	12

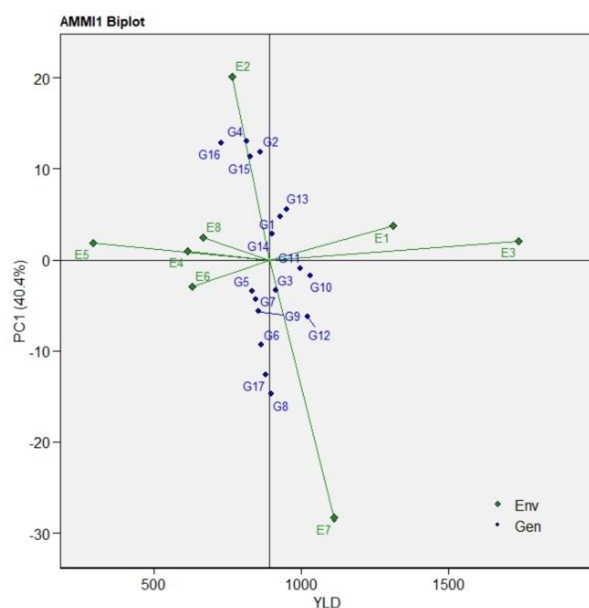
GY: عملکرد دانه، $Si^{(1)}$, $Si^{(2)}$, $Si^{(3)}$, $Si^{(6)}$: آماره‌های نصار و هیون، $NPi^{(1)}$, $NPi^{(2)}$, $NPi^{(3)}$, $NPi^{(4)}$: تنارازو، TOP: آماره فاکس، YSi: آماره کانگ.

GY: Grain Yield, $Si^{(1)}$, $Si^{(2)}$, $Si^{(3)}$, $Si^{(6)}$: Nasar and Huehn statistics, $NPi^{(1)}$, $NPi^{(2)}$, $NPi^{(3)}$, $NPi^{(4)}$: Thennarasu statistics, TOP: Fox statistic, YSi: Kang statistic

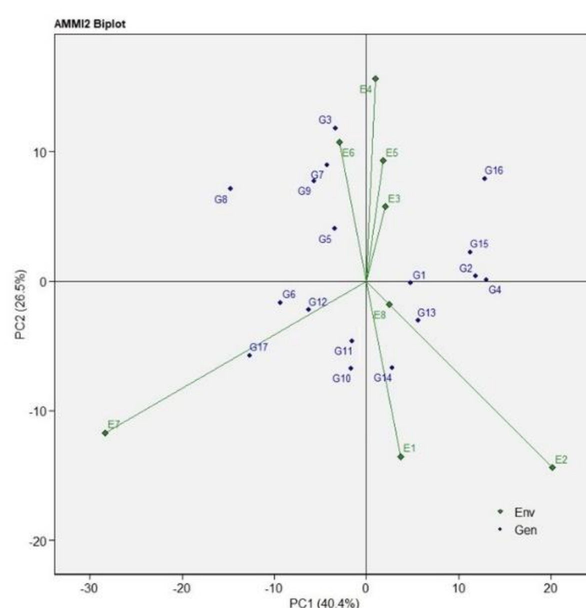
جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه براساس مدل AMMI

Table 4- The combined analysis of variance for grain yield based on the AMMI model

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares	درصد Percentage
ENV	7	10985517.08**	
REP(ENV)	16	269469.81**	
GEN	16	146351.01**	
GEN×ENV	112	102881.2**	
PC1	22	211772.06**	40.4
PC2	20	152869.68**	26.5
PC3	18	126724.83**	19.8
PC4	16	45284.71	6.3
PC5	14	36755	4.5
PC6	12	12387.93	1.3
PC7	10	13748.83	1.2
Residuals	256		



AMMI1



AMMI2

شکل ۳- AMMI1) بای‌پلات مؤلفه اصلی اول (PC1) و عملکرد دانه (YLD کیلوگرم در هکتار)، AMMI2) بای‌پلات دو مؤلفه اول (PC1 و PC2) بر هم‌کنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ۱۷ ژنوتیپ عدس در هشت محیط

Fig. 3– AMM1) Biplot showing the relationship between the first principal component (PC1) and grain yield (YLD kg.ha^{-1}), AMMI2) Biplot illustrating the interaction between genotype and environment for the grain yield of 17 lentil genotypes across eight environments

نتیجه‌گیری

آماره ناپارامتری TOP، ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۰ را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها نشان داد و آماره کانگ نیز ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۳ را در رتبه‌های برتر قرار داد. با تجمیع آماره‌های ناپارامتری و محاسبه آماره SIIG، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۰و ۱۲ در بهترین شرایط از نظر عملکرد و پایداری عملکرد قرار گرفتند. براساس نتایج تجزیه چند متغیره AMMI نیز بای‌پلات AMMI1 ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی نمود و بای‌پلات AMMI 2 ژنوتیپ ۱۲ را در بهترین شرایط از نظر میانگین و پایداری عملکرد تشخیص داد. در مجموع، با در نظر گرفتن نتایج تجزیه ناپارامتری و تجزیه AMMI، ژنوتیپ ۱۲ با برخورداری از میانگین عملکرد بالا و پایداری عملکرد بالا، به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناسایی شد و در کنار این ژنوتیپ، ژنوتیپ ۱۰ نیز از شرایط مناسبی برخوردار بود و این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان کاندیدهای معرفی به‌عنوان رقم جدید برای مناطق گرمسیری شناسایی شدند.

References

Abdulahi, A., Mohammadi, R., & Pourdad, S. S. (2007). Evaluation of safflower (*Carthamus* spp.) genotypes in multi-environment trials by nonparametric methods. *Asian Journal of Plant Sciences*, *6*(5), 827–832. https://doi.org/10.3923/ajps.2007.827.832

Aghaei-Sarbarze, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, B., Shahbazpour-Shahbazi A, Bahari, M., & Rostami, H. (2014). Evaluation of yield and yield stability of durum wheat genotypes in tropical and dried region of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, *28*, 315-325. (In Persian). https://doi.org/10.22092/spij.2017.111109

Amelework, A. B., Bairu, M. W., Marx, R., Laing, M., & Venter, S. L. (2023). Genotype × environment interaction and stability analysis of selected cassava cultivars in South Africa. *Plants*, *12*(13), 2490. https://doi.org/10.3390/plants12132490

Farshadfar, E., Mahmudi, N., & Sheibanirad, A. (2014). Nonparametric methods for interpreting genotype×environment interaction in bread wheat genotypes. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, *4*(3), 55–62.

Fox, P. N., Skovmand, B., Thompson, B. K., Braun, H. J., & Cormier, R. (1990). Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica*, *47*(1), 57–64. https://doi.org/10.1007/BF00040364

Haghpanah, M., Kazemitabar, S. K., Hashemi, S. H., & Alavi, S. M. (2015). Evaluation of Mazandaran nettle (*Urtica dioica*) population structure and genetic diversity by AFLP markers. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *22*(2), 241-250. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2015.12227

Jamshidmoghaddam, M., & Pourdad, S. S. (2013). Genotype × environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, *190*(3), 357–369. https://doi.org/10.1007/s10681-012-0776-z

Kang, M. S. (1993). Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal*, *85*(3), 754–757. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030042x

Katsenios, N., Sparangis, P., Leonidakis, D., Katsaros, G., Kakabouki, I., Vlachakis, D., & Efthimiadou, A. (2021). Effect of genotype × environment interaction on yield of maize hybrids in Greece using AMMI analysis. *Agronomy*, *11*(3), 479. https://doi.org/10.3390/agronomy11030479

Katsura, K., Tsujimoto, Y., Oda, M., Matsushima, K., Inusah, B., Dogbe, W., & Sakagami, J. I. (2016). Genotype-by-environment interaction analysis of rice (*Oryza* spp.) yield in a floodplain ecosystem in West Africa. *European Journal of Agronomy*, *73*, 152–159. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.014

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018). Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production and Processing*, *8*(2), 79-96. (In Persian). https://doi.org/10.29252/jcpp.8.2.79

Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Mehraban, A., Mirzaei, A., & Vaezi, B. (2022a). Evaluation of grain yield stability of advanced rainfed lentil genotypes using multivariate AMMI method. *Journal of Crop Breeding*, *14*(42), 169-176. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.14.42.169

Namdari, A., Pezeshkpour, P., Mehraban, A., Naseri, A., Vaezi, B., & Nazarli, H. (2022b). Evaluation the grain yield stability of promising rainfed lentil genotypes using parametric and non-parametric statistics. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(3), 145-159. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2021.330502.654854

Nassar, R., & Huehn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, *43*, 45–53. https://doi.org/10.2307/2531947

Olivoto, T., & Lúcio, A. D. (2020). Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, *11*(6), 783–789. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384

Omrani, A., Omrani, S., Khodarahmi, M., Shojaei, S. H., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., & Nagy, J. (2022). Evaluation of grain yield stability in some selected wheat genotypes using AMMI and GGE biplot methods. *Agronomy*, *12*(5), 1130. https://doi.org/10.3390/agronomy12051130

Pezeshkpour, P., & Karimizadeh, R. (2023). Evaluation of the mean performance and stability of chickpea genotypes by integration AMMI and BLUP models and selection based on Multi-Trait Stability Index (MTSI). *Journal of Crop Breeding*, *15*(46), 73-83. (In Persian). https://doi.org/10.61186/jcb.15.46.73

Pour-Aboughadareh, A., Khalili, M., Poczai, P., & Olivoto, T. (2022). Stability indices to deciphering the Genotype-by-Environment Interaction (GEI) effect: An applicable review for use in plant breeding programs. *Plants*, *11*(3), 414. https://doi.org/10.3390/plants11030414

Senguttuvel, P., Sravanraju, N., Jaldhani, V., Divya, B., Beulah, P., Nagaraju, P., Manasa, Y., Prasad, A. S. H., Brajendra, P., Gireesh, C., Anantha, M. S., Suneetha, K., Sundaram, R. M., Madhav, M. S., Tuti, M. D., Subbarao, L. V., Neeraja, C. N., Bhadana, V. P., Rao, P. R., Voleti, S. R., & Subrahmanyam, D. (2021). Evaluation of genotype by environment interaction and adaptability in lowland irrigated rice hybrids for grain yield under high temperature. *Scientific Reports*, *11*(1), 15825. https://doi.org/10.1038/s41598-021-95264-4

Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B., Singh, G., Chatrath, R., & Singh, G. (2019). Genotype x environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *19*(3), 309–318. https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a43

Song, W., Sun, S., Ibrahim, S. E., Xu, Z., Wu, H., Hu, X., Jia, H., Cheng, Y., Yang, Z., Jiang, S., Wu, T., Sinegovskii, M., Sapey, E., Nepomuceno, A., Jiang, B., Hou, W., Sinegovskaya, V., Wu, C., Gai, J., & Han, T. (2019). Standard cultivar selection and digital quantification for precise classification of maturity groups in soybean. *Crop Science*, *59*(5), 1997–2006. https://doi.org/10.2135/cropsci2019.02.0095

Subedi, M., Khazaei, H., Arganosa, G., Etukudo, E., & Vandenberg, A. (2021). Genetic stability and genotype × environment interaction analysis for seed protein content and protein yield of lentil. *Crop Science*, *61*(1), 342–356. https://doi.org/10.1002/csc2.20282

Sun, X., Ma, P., & Mumm, R. H. (2012). Nonparametric method for genomics-based prediction of performance of quantitative traits involving epistasis in plant breeding. *Plos One*, *7*(11), e50604. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050604

Thennarasu, K. (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype environment interactions and yield stability. IARI, Division of Agricultural Statistics. New Delhi.

Whitley, E., & Ball, J. (2002). Statistics review 6: Nonparametric methods. *Critical Care*, *6*(6), 509. https://doi.org/10.1186/cc1820

Zali, H., & Barati, A. (2020). Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Journal of Crop Breeding*, *12*(34), 93-104. (In Persian). https://doi.org/10.29252/jcb.12.34.93

Zali, H., Farshadfar, E., & Sabaghpour, S. H. (2011). Non-parametric analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. *Crop Breeding Journal*, *1*, 89-100. (In Persian).

Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Mansouri, S., & Fallah-Toosi, A. (2021). Evaluation of seed yield stability of promising sesame lines using different parametric and nonparametric methods. *Plant Genetic Researches*, *8*(1), 43-60. (In Persian).